

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

昭60-66494

⑬ Int. Cl.<sup>4</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 昭和60年(1985)4月16日

H 01 S 3/30

6370-5F

審査請求 未請求 発明の数 1 (全4頁)

⑮ 発明の名称 光信号増幅法

⑯ 特 願 昭58-174629

⑰ 出 願 昭58(1983)9月21日

⑱ 発 明 者 青 木 恭 弘 東京都港区芝5丁目33番1号 日本電気株式会社内  
⑲ 発 明 者 岸 田 俊 二 東京都港区芝5丁目33番1号 日本電気株式会社内  
⑳ 出 願 人 日本電気株式会社 東京都港区芝5丁目33番1号  
㉑ 代 理 人 弁理士 内 原 晋

明 細 書

1. 発明の名称 光信号増幅法

2. 特許請求の範囲

信号光を長さ $l$ 、伝送損失係数 $\alpha_p$ の光ファイバの一端から入射させ、他端から励起光を入射させ、該光ファイバ内の誘導ラマン効果によって増幅された該信号光を該励起光パルスと分離して取り出す光信号増幅法において、該光ファイバ内の光速度を $C$ 、音響フォノンの緩和時定数を $\tau_B$ 、誘導ラマン散乱係数を $g_R$ 、誘導ブリュアン散乱係数を $g_B$ とし、かつ $g_B = K \cdot g_R$ としたとき、

$$dt \ll \tau_B$$

$$\text{かつ、 } K \cdot dt \ll T < \frac{2\pi}{C} \cdot \frac{1 - e^{-\alpha_p l}}{\alpha_p}$$

の条件を満たす繰り返し周期 $T$ 、パルス幅 $dt$ の光パルス列を前記励起光としたことを特徴とする光信号増幅法。

3. 発明の詳細な説明

本発明は、光ファイバ内の誘導ラマン効果を用いた光信号増幅法に関する。

光ファイバ内の誘導ラマン効果を用いた光信号増幅法では、通常、信号光とともに励起光を光ファイバに入射させ、その励起光によって光ファイバ内に誘起された誘導ラマン利得によって信号光を増幅する。

この光増幅法における信号光の増幅度 $G_R$ は次式で与えられることが知られている。

$$G_R = \exp \left( g_R \cdot \int_0^l I_p(Z) dZ \right) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $g_R$ は光ファイバの誘導ラマン散乱係数、 $I_p(Z)$ は光ファイバ中の点 $Z$ における励起光強度、 $l$ は光ファイバ長である。

励起方式としては、励起光を信号光と同一方向に光ファイバ中を伝搬させる前方ラマン増幅と、逆方向に伝搬させる後方ラマン増幅の2方式があり、いずれの場合も増幅度は(1)式で与えられる。

この光増幅法において、励起光としては従来、連続光を用いた。前述の $G_R$ の時間安定度を考慮して連続光を用いた。

しかしながら、連続光を励起光とした従来例においては、通常光ファイバに数100mW以上の励起光を入力させると、誘導ブリュアン効果によって大部分の励起光がその入射端方向に後方散乱される為十分な増幅度が得られないという欠点があった。これは以下のように説明できる。

光ファイバの誘導ブリュアン散乱係数を $g_B$ とすると、一般に

$$g_B = K \cdot g_R \quad (K > 10) \quad \dots\dots\dots (2)$$

であり、光ファイバの誘導ブリュアン散乱係数は誘導ラマン散乱係数よりも一桁以上大きい。ここで、 $K$ は $g_B$ と $g_R$ の比を示す定数である。その結果誘導ラマン効果によって信号光が増幅される以前に、誘導ブリュアン効果によって励起光が後方散乱され、前述の(1)式における $\int_0^L I_p(z) dz$ が小さくなる。さらに、従来例では後方誘導ブリュアン散乱光が励起光源自体に戻り、それを防ぐために高性能の光アイソレータが必要になるという欠点があった。また、後方誘導ブリュアン散乱光が生ずることにより励起光に時間変動を生じ、その変動

を反映して、増幅後の信号光にも大きな時間変動が生ずるという致命的な欠点があった。

本発明は、上記のような種々の欠点を生ずる誘導ブリュアン効果を抑制し、実用上充分な増幅度が得られる誘導ラマン効果を用いた光信号増幅法を提供するものである。

本発明の光信号増幅法は、信号光を長さ $l$ 、伝送損失係数 $\alpha_p$ の光ファイバの一端から入射させ、他端から励起光を入射させ、該光ファイバ内の誘導ラマン効果によって増幅された該信号光を励起光パルスと分離して取り出す光信号増幅法において、該光ファイバ内の光速度を $C$ 、音響フォノンの緩和時定数を $\tau_B$ 、誘導ラマン散乱係数を $g_R$ 、誘導ブリュアン散乱係数を $g_B$ とし、かつ $g_B = K \cdot g_R$ としたとき、

$$\Delta t \ll \tau_B$$

かつ、 $K \cdot \Delta t < T < \frac{2\pi}{C} \cdot \frac{1 - e^{-\alpha_p l}}{\alpha_p}$ の条件を満たす繰り返し周期 $T$ 、パルス幅 $\Delta t$ の光パルス列を前記励起光としたことを特徴としている。

次に、本発明による光信号増幅法について図面を参照して詳細に説明する。

第1図は本発明による一実施例の構成を示したものである。

第1図において、1は信号光源、2は光ファイバ、3は光ファイバの励起用パルス光源、4は信号光と励起光の合成または分離のためのダイクロイックミラー、5は受光器である。

本発明の特徴は、光パルス列を励起光とし、かつ、後方ラマン増幅の励起方式を用いていることにある。

誘導ブリュアン散乱は、励起光によって光ファイバ中に生じた音響フォノンによる光の散乱であり、その室温での音響フォノンの緩和時定数 $\tau_B$ は約15nsである。したがって、励起光をパルス列とし、その繰り返し周期を $T$ 、パルス幅を $\Delta t$ としたとき、

$$\Delta t \ll \tau_B \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\Delta t \ll T \quad \dots\dots\dots (4)$$

とすれば、音響フォノンはこのような短光パルス列に追従できなくなるので誘導ブリュアン散乱を

抑えることができる。 $\Delta t \ll \tau_B$ である励起光パルス列の平均強度を連続光の場合と同じとすると、この励起光パルス列による光ファイバの誘導ブリュアン散乱の等価的な係数 $g_B'$ は近似的に

$$g_B' = \frac{\Delta t}{T} \cdot g_B \quad \dots\dots\dots (5)$$

となる。ただし、 $g_B$ は連続光による誘導ブリュアン散乱の係数である。

前述のように

$$g_B = K \cdot g_R \quad (K > 10)$$

であるから、(5)式は(6)式のように表わされる。

$$g_B' = \frac{\Delta t}{T} \cdot K \cdot g_R \quad \dots\dots\dots (6)$$

したがって、

$$K \cdot \Delta t < T \quad \dots\dots\dots (7)$$

とすれば、 $g_R > g_B'$ となり誘導ラマン効果が誘導ブリュアン効果よりも優勢となり、誘導ブリュアン効果が抑制されることがわかる。

また、本実施例では励起光を信号光と逆方向に伝搬させる後方ラマン増幅の励起方式を用いているので、以下に詳述する様に、増幅後の信号光に励起光を光パルス列にしたことによる時間変動が

生じないようにすることができる。

誘導ブリュアン効果による励起光の後方散乱を無視できる場合、 $Z=0$ で光ファイバ2に励起光強度  $I_p(0)$  を入力したときの  $I_p(Z)$  は、

$$I_p(Z) = I_p(0) \cdot \exp(-\alpha_p \cdot Z) \dots\dots (8)$$

と表わされる。ただし、 $\alpha_p$ は励起光波長における光ファイバの伝送損失係数である。したがって、

$$(1) \text{式における } \int_0^L I_p(Z) dZ \text{ は、}$$

$$\int_0^L I_p(Z) dZ = I_p(0) \cdot L \dots\dots (9)$$

$$L = \frac{1 - e^{-\alpha_p \cdot L}}{\alpha_p} \dots\dots (10)$$

となる。 $L$ は増幅に寄与する正味のファイバ長を与え、実効長と呼ばれている。

後方ラマン増幅では、信号光と励起光を逆方向に伝搬させるのでその増幅度  $G_R$  には、信号光が実効長  $L$  の光ファイバを伝搬するのに要する時間域ある  $\frac{2\pi L}{C}$  より短い周期の時間変動は生じない。

ここで、 $C$ は光ファイバ中の光速度である。したがって、前述の励起光パルス列の周期を、

$$T < \frac{2\pi L}{C} \dots\dots (11)$$

とすれば、増幅度  $G_R$  には励起光を光パルス列化し

たことによる時間変動は全く生じないことがわかる。以上より、結局、励起光を  $\Delta t \ll \tau_B$ ,  $K \cdot \Delta t < T < \frac{2\pi L}{C}$  の条件を満たす光パルス列とし、かつ後方ラマン増幅の励起方式を用いることにより、誘導ブリュアン効果を顕著に抑制し、しかも増幅度には励起光を光パルス列化したことによる時間変動が生じない光信号増幅法が実現できることがわかる。本実施例では、信号光源1として、波長  $1.12 \mu\text{m}$  の InGaAsP/InP 半導体レーザ、光ファイバの励起用パルス光源3として繰り返し周期  $4\text{ns}$ 、パルス幅  $100\text{ps}$ 、平均出力約  $10\text{W}$  の波長  $1.08 \mu\text{m}$  モード同期 YAG レーザ、光ファイバ2としてコア径  $6 \mu\text{m}$ 、光ファイバ長  $10\text{km}$ 、光ファイバの伝送損失係数  $1\text{dB/km}$  の単一モードシリカファイバを用いている。

本実施例においては、平均約  $3.5\text{W}$  の励起光を入力したときに、増幅度  $G$  として誘導ラマン効果による光増幅の限界値に近い  $10^4$  程度の値が得られた。一方、従来例のように連続光を励起光として用いた場合には、誘導ブリュアン効果によって最

大約  $1\text{W}$  の励起光しか入力できず、増幅度  $G$  として約  $50$  の値しか得られなかった。

なお、この発明による実施例は上述の実施例に見られる構成のみに限定されることなく、いくつかの変形が考えられる。例えば、光ファイバの励起用高速パルス光源3において、高速光パルス列を得る方法として外部光変調器を用いてもよく、またレーザ光源としてはカラーセンターレーザ、高出力半導体レーザ等の他のレーザを用いても良い。さらに、光ファイバ2として、 $\text{GeO}_2$  あるいは  $\text{P}_2\text{O}_5$  をコアにした光ファイバを用いても良い。

以上の説明によって明らかなように、本発明によれば、高速光パルス列を励起光として誘導ブリュアン効果を抑制しているので、実用上十分な増幅度が得られるとともに、かつ後方ラマン増幅の励起方式を用いることにより、その増幅度には励起光をパルス列化したことによる時間変動が生じない光信号増幅法が得られる。

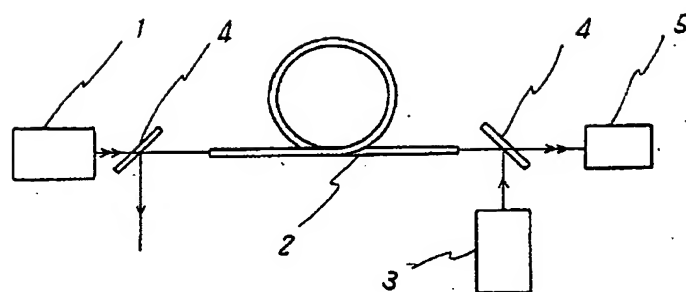
#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明による一実施例を示す構成図である。

図において、1……信号光源、2……光ファイバ、3……光ファイバの励起用パルス光源、4……ダイクロイックミラー、5……受光器である。

代理人 弁理士 内原 啓

第 1 図



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 60-066494

(43)Date of publication of application : 16.04.1985

(51)Int.Cl. H01S 3/30

(21)Application number : 58-174629

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 21.09.1983

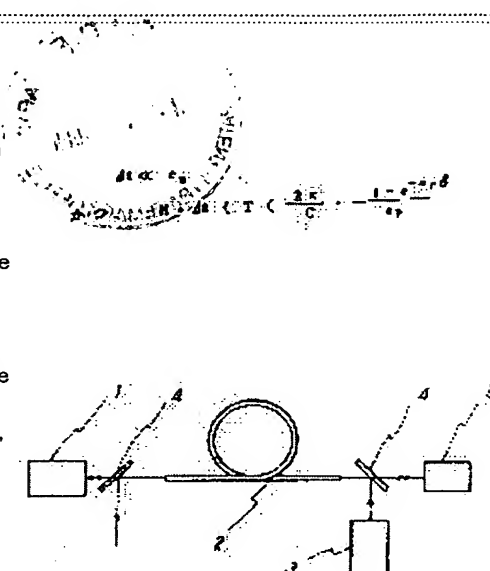
(72)Inventor : AOKI TAKAHIRO  
KISHIDA SHUNJI

## (54) AMPLIFICATION FOR OPTICAL SIGNAL

## (57)Abstract:

**PURPOSE:** To remarkably suppress the stimulated Brillouin effect, and furthermore, to restrain the time variation of the signal light after the amplification was performed by a method wherein the excited light to be set in the optical signal amplification is set as an optical pulse train meeting specific requirements, and also, an excitation system of back Raman amplification is adopted as the amplification means.

**CONSTITUTION:** In an optical signal amplification system, wherein a signal light is made to incident from one end of an optical fiber 2 having a length of (l) and a transmission loss coefficient of . P, while an excited light is made to incident from the other end of the optical fiber 2, and the signal light amplified by the stimulated Raman effect in the interior of the optical fiber 2 is drawn out separately from an excited optical pulse, the light velocity in the interior of the optical fiber 2 is set as C, the relaxation time constant of acoustic phonons at . B, the stimulated Raman scattering coefficient at gR, the stimulated Brillouin scattering coefficient at gB and the relation between the gB and the gR at  $gB = K \cdot gR$ . In this case, the excited light is set as an optical pulse train, which meets requirements for the formula, that is, an optical pulse train, whose repetitive period is T and pulse width is . t.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C): 1998.2003 Japan Patent Office